Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 1, Spring 2024, p. 41-50

Effect of Putrescine on Rooting of Yew Cuttings, an Ornamental Shrub in Danger of Extinction

A. Sahari Moghaddam[1], B. Kaviani[2*], A. Mohammadi Torkashvand[3], Vahid Abdossi[4], A.R. Eslami[5]

1, 3 and 4- Ph.D. Candidate, Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, respectively.
2 and 5- Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: kaviani@iaurasht.ac.ir)

Received:	12-02-2022	**How to cite this article:**
Revised:	04-04-2022	Sahari Moghaddam, A., Kaviani, B., Mohammadi Torkashvand, A., Abdossi, V., & Eslami, A.R. (2024). Effect of putrescine on rooting of yew cuttings, an ornamental shrub in danger of extinction. *Journal of Horticultural Science*, *38*(1), 41-50. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75269.1141
Accepted:	09-04-2022	
Available Online:	09-04-2022	

Introduction

Yew or English yew (*Taxus baccata* L.) from the family of Taxaceae is an ornamental shrub that is used in various industries. Root induction and formation process at the base of stem cuttings of yew is slow. This species is in danger of extinction. Stimulation of rooting in cuttings causes the plant to grow faster. Polyamines are a group of plant growth regulators that play a variety of roles, including cellular differentiation and development and stimulation of adventitious root production. Some yew habitats have been destroyed because of neglect, destruction, livestock and ineffective exploitation. The yew is propagated by seeds or through cutting and grafting. Propagation of yew through seed is difficult and obtained plants show non-uniformity. Therefore, vegetative propagation is used to produce plants similar to the mother plant. The proliferation of the plant through leafy stem cutting is one of the most famous and the best propagation methods due to the preservation of the genetic structure and uniformity. Increasing the rooting capacity of trees and shrub cuttings is being carried out with a variety of plant growth regulators around the world. Putrescine has shown a better response in compare with other polyamines. The stimulation effect of exogenous application of polyamines, especially putrescine, was shown on the rooting of several plants' cutting. Literature evaluation showed that there is not any study on the effect of polyamines on the rooting of the yew stem cuttings. Therefore, the aim of this research was to improve the rooting conditions of difficult-to-root cuttings with different concentrations of putrescine (a type of polyamine).

Materials and Methods

In order to investigate the effect of different concentrations of putrescine, an experiment was performed based on a completely randomized block design with 4 replications. Treatments included 0 (as a control), 500, 1000, 2000, 3000, 4000 and 5000 mg.l^{-1} of putrescine concentrations. In October, 25 cm of the end of the shoot of 5-years-old mother plants were cut and used as hardwood cuttings. The cuttings diameter was 2.5-3 mm. The lower ends of the shoot cuttings were kept at different concentrations of putrescine for 10 seconds and then placed in the cultivation bed. In this study, root percentage, number of roots, root length, stem length, shoot number, leaf number and survival percentage of cuttings were measured. Cuttings cultivation bed was perlite, cocopeat and peat moss. To prevent

https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75269.1141

possible contamination, the bottom of the cuttings were immersed in a 2/1000 fungicide solution of Berdofix a week befor cutting preparation.

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that different concentrations of putrescine on all traits were significant at 1% probability levels. The results of mean comparison showed that the largest number of roots (6.50 per plantlet) and the highest root length (7.70 cm per plantlet) were observed in cuttings treated with 500 $mg.l^{-1}$ putrescine. The highest number of shoots (5.50 per plantlet) and the highest rooting percentage (97.50) were obtained in cuttings treated with 2000 $mg.l^{-1}$ of putrecine. The maximum number of leaves (41.25 per plantlet) was counted in cuttings treated with 3000 $mg.l^{-1}$ of putrescine. Yew can be propagated successfully by stem cuttings. Natural conditions propagation and *in vitro* propagation beside cryopreservation are effective approaches to conserve plants particularly those putted in the red list. Plant growth regulators have an effective role in increasing the rooting of difficult-to-root cuttings of trees and shrubs. The exogenous use of polyamines as a new group of hormones stimulated root production in some cuttings. Peach × almond hybrid cuttings treated with 2 mM putrescine for 5 min showed the highest rooting percentage, root number and root length with the best quality. Putrescine is capable to influences on other plant growth regulators and has less toxicity than most of them. Polyamines stimulate cellular division in dissection place cells of cuttings such as cambium and phloem. The exogenous application of these compounds, especially putrescine during the root formation phase resulted in an increase in endogenous putrescine, endogenous auxin and peroxidase enzyme activity. In the cutting of the leafy stem of *Corylus avellana* L., the use of putrescine stimulated rooting. The study, like the present study, confirmed that putrescine can be useful for increasing rooting percentage and root quality. Putrescine had an effective role in the rooting of the stem cuttings. The present study revealed that the lowest root number was counted in cuttings that were not treated by putrescine (control). Polyamines (spermine, spermidine and putrescine) increased rooting percentage and root growth by stimulating root cell division (increased mitotic index of tip root cells) in regenerated pine (*Pinus virginiana* Mill.) seedlings. Polyamine biosynthesis and antioxidant enzymes activity were increased during root induction and formation. The exogenous application of spermidine in the apple (*Malus prunifolia*) stem cutting stimulated rooting by changing the concentration of some hormones. Spermidine regulated the expression of genes involved in the production of auxins. The study aimed to investigate the cellular-molecular effect of polyamines on the structure and development of roots in *Arabidopsis* showed that these organic compounds adjusted the size of the root meristematic zone during the effect on both symptomatic accumulations of hormones and reactive oxygen species (ROS). The same and different results are presented with the present findings by some other researchers. The main cause of these different results is the difference in the amount and balance of endogenous hormones, including polyamines in different species. Plant genotype, type of cuttings, cutting age, environmental factors, nutritional status especially type and amount of carbohydrates in the plant, the transfer rate of these carbohydrates from leaves to roots, the presence and the amount of phenolic compounds, nitrogen compounds, phonological stages and cutting season also play an effective role in these differences.

Keywords: English yew, Ornamental plants, Plant growth regulators, Polyamines, Tree propagation

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۱، بهار ۱٤۰۳، ص. ٥۰-٤۱

اثر پوتریسین بر ریشه‌زایی قلمه سرخدار، یک درختچه زینتی در خطر انقراض

علی سحری مقدم[۱]- بهزاد کاویانی[۲]*- علی محمدی ترکاشوند[۳]- وحید عبدوسی[٤]- علی‌رضا اسلامی[٥]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰

چکیده

سرخدار یا سرخدار انگلیسی (*Taxus baccata* L.) از خانواده سرخداریان (Taxaceae)، یک درختچه زینتی است که در صنایع مختلف کاربرد دارد. ریشه‌زایی قلمه‌های ساقه و رشد گیاه سرخدار کند است، از این‌رو، خطر انقراض، این گیاه را تهدید می‌کند. تحریک ریشه‌زایی در قلمه‌ها، باعث ازدیاد سریع‌تر این گیاه می‌شود. پلی‌آمین‌ها گروهی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هستند که نقش‌های مختلفی از جمله تمایز سلولی، نمو و تحریک تولید ریشه نابجا دارند. به‌منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین، آزمایشی بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. تیمارها شامل غلظت صفر (به‌عنوان شاهد)، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از پوتریسین بودند. در آبان ماه، حدود ۲۵ سانتی‌متری انتهای شاخه گیاهان مادری ۵ ساله بریده شد و به‌عنوان قلمه برگدار چوب‌سخت ساقه مورد استفاده قرار گرفت. انتهای تحتانی قلمه‌های سرشاخه به‌مدت ۱۰ ثانیه در غلظت‌های مختلف پوتریسین نگهداری شدند و سپس در بستر کاشت قرار گرفتند. در این تحقیق درصد ریشه‌زایی، تعداد ریشه، طول ریشه، طول ساقه، تعداد شاخه و تعداد برگ قلمه‌ها اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غلظت‌های مختلف پوتریسین روی همه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. بیشترین تعداد ریشه (۶/۵۰ عدد در گیاهچه) و بالاترین طول ریشه (۷/۷۰ سانتی‌متر در گیاهچه)، در قلمه‌های تیمارشده با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین مشاهده شد. بیشترین تعداد شاخه (۵/۵۰ عدد در گیاهچه) و بالاترین درصد ریشه‌زایی (۹۷/۵۰ درصد) در قلمه‌های تیمارشده با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین به دست آمد. بیشترین تعداد برگ (۴۱/۲۵ عدد در گیاهچه) در قلمه‌های تیمارشده با ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین شمارش شد. در مجموع، غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین برای ریشه‌زایی قلمه برگدار ساقه سرخدار مناسب‌تر از بقیه غلظت‌ها بود که اهمیت اقتصادی نیز دارد.

واژه‌های کلیدی: ازدیاد درختان، پلی‌آمین‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، سرخدار انگلیسی، گیاهان زینتی

مقدمه

سرخدار معمولی یا سرخدار انگلیسی[۶] از خانواده سرخداریان[۷]، یک جنس از ۵ تا ۱۰ گونه از درختچه‌های بزرگ یا درختان کوچک زینتی دو پایه، همیشه‌سبز و از مخروطیان است که در جنگل‌های نواحی معتدله شمالی تا فیلیپین و آمریکای مرکزی پراکنده می‌باشد. سرخدار به‌دلیل برگ‌های زینتی‌اش کشت می‌شود. روی پایه‌های ماده، میوه‌های بیضوی-تخم‌مرغی تک‌دانه در آریل‌های گوشتی و باز تولید می‌شوند. سرخدار به‌عنوان یک گیاه زینتی در ساخت پرچین و گیاه‌آرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه در خاک‌های حاصل‌خیز اسیدی و قلیایی که به خوبی زهکش شده‌اند و در نور یا تاریکی رشد می‌کند (Brickell & Zuk, 1997). سرخدار با داشتن چوب قرمز در صنایع مختلف مانند صنایع دستی و زینتی از جمله منبت‌کاری و مجسمه‌سازی

۱، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری تخصصی، استاد و دانشیار، گروه علوم باغبانی و زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲ و ۵- به‌ترتیب استاد و دانشیار، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: kaviani@iaurasht.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75269.1141

6- *Taxus baccata* L.
7- Taxaceae

مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماده تاکسول[1] (نوعی آلکالوئید) این درخت در درمان برخی سرطان‌ها کاربرد دارد.

سرخدار یکی از چهار گونه سوزنی‌برگ ایران (زربین، نوش، ارس و سرخدار) است که در قسمتی از سواحل دریای خزر، بخش‌های کوچکی از مازندران، ارتفاعات گلستان و جنگل‌های گیلان رویش دارد. برخی رویشگاه‌های سرخدار به دلیل بی‌توجهی، تخریب، چرای دام و بهره‌برداری بی‌رویه از بین رفته‌اند (Khanjani Shiraz *et al*., 2008; Dargahi, 2000). سرخدار توسط بذر و یا از طریق قلمه و پیوند تکثیر می‌شود. ازدیاد سرخدار از طریق کشت بذر، علاوه بر موانع و مشکلاتی از جمله عدم یکنواختی گیاهان تکثیرشده و تفرق صفات، به‌لحاظ اقتصادی نیز مقرون به‌صرفه نیست. بنابراین، ازدیاد رویشی برای تولید گیاهان مشابه گیاه مادری به‌کار گرفته می‌شود. تکثیر گیاه به‌وسیله قلمه ساقه برگدار به‌دلیل حفظ ساختار ژنتیکی، یکی از معروف‌ترین و بهترین روش‌های تکثیر غیرجنسی می‌باشد.

قلمه سرخدار، سخت‌ریشه‌زا است. افزایش ظرفیت ریشه‌زایی قلمه‌های سخت‌ریشه‌زای گیاهان خشبی و نیمه‌خشبی (درختی و درختچه‌ای) با انواع تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سراسر جهان در حال انجام است. تشکیل ریشه‌های فرعی یک مرحله بحرانی برای تکثیر رویشی محصولات باغی است (Wang *et al*., 2020).

پلی‌آمین‌ها یک گروه جدید از تنظیم‌کننده‌های رشد می‌باشند که برخی فرآیندهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک از جمله تشکیل و رشد ریشه، جنین‌زایی، تقسیم سلولی و پاسخ به تنش‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Liu *et al*., 2006; Babalar *et al*., 2014; Wang *et al*., 2020; Badihi *et al*., 2021; Muilu-Makela *et al*., 2021; Sun *et al*., 2021; Razi *et al*., 2023). این ترکیبات قادر به تحریک تشکیل ریشه و نمو ریشه در گیاهان سخت ریشه‌زا هستند. پوتریسین پاسخ بهتری را نسبت به سایر پلی‌آمین‌ها نشان داده است (Wu *et al*., 2010). اثرات پلی‌آمین‌ها روی ریشه‌زایی قلمه‌ها، با افزایش فعالیت پراکسیداز در انتهای پایه‌ای قلمه‌ها مرتبط است (Rugini *et al*., 1997). اثر پلی‌آمین‌ها روی ریشه‌زایی در ابتدا روی زیتون[2] گزارش شد (Rugini *et al*., 1997). مقدار پلی‌آمین‌ها در زیتون کم است. درختانی که دارای مقدار بالایی از پلی‌آمین‌ها هستند، پاسخ مناسبی به کاربرد خارجی این ترکیبات نشان نمی‌دهند (Aslmoshtaghi *et al*., 2014). در رقم با توانایی پایین ریشه‌زایی زیتون، استفاده از غلظت‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین همراه با غلظت ۶۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول-۳-بوتیریک اسید (IBA)، باعث افزایش ریشه‌زایی شدند، در حالی که در رقم با توانایی بالای ریشه‌زایی، این دو غلظت پوتریسین همراه با غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر IBA ریشه‌زایی را افزایش دادند (Aslmoshtaghi *et al*., 2014). اثر هم‌افزایی پوتریسین و IBA روی تشکیل ریشه‌های نابجا روی قلمه‌های زیتون و دورگ هلو و بادام[3] توسط برخی محققان دیگر نیز گزارش شد (Rugini *et al*., 1997; Karimi & Yadollahi, 2012). اگرچه برخی محققان به این نتیجه رسیدند که پوتریسین می‌تواند در تحریک ریشه‌زایی جایگزین IBA شود (Karimi & Yadollahi, 2012).

اثر تحریکی کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها به‌ویژه پوتریسین روی ریشه‌زایی قلمه‌های سخت ریشه‌زای چند گونه گیاهی از جمله زیتون، دورگ هلو و بادام و کاج ویرجینیا[4] نشان داده شد (Nag *et al*., 2001; Tang & Newton, 2005; Karimini & Yadollahi, 2012; Aslmoshtaghi *et al*., 2014). در دورگ هلو و بادام، بالاترین درصد ریشه‌زایی (۷۴/۶۰) و تعداد ریشه (۹/۵) با کاربرد خارجی ۲ میلی‌مولار پوتریسین به دست آمد (Karimini & Yadollahi, 2012). در کاج ویرجینیا، هر سه پلی‌آمین (پوتریسین، اسپرمین و اسپرمیدین) در غلظت ۰/۰۰۱ تا یک میلی‌مولار، درصد ریشه‌زایی را اصلاح کردند و طویل‌شدن ریشه را تحریک نمودند. هر سه این پلی‌آمین‌ها در غلظت ۰/۰۱ تا یک میلی‌مولار درصد ریشه‌زایی و طویل‌شدن ریشه را کاهش دادند (Tang & Newton, 2005). درصد بقای گیاهچه‌های حاصل از کاشت قلمه‌های تیمارشده با غلظت‌های کم پلی‌آمین‌ها افزایش یافت.

بررسی منابع نشان داد که مطالعه‌ای روی اثر پلی‌آمین‌ها بر ریشه‌زایی قلمه ساقه سرخدار انجام نشده است. هدف از پژوهش حاضر، بهبود شرایط ریشه‌زایی قلمه‌های ساقه سرخدار، یک درختچه زینتی در خطر انقراض، با استفاده از پوتریسین (نوعی پلی‌آمین) بود.

مواد و روش‌ها

شرایط آزمایش

این تحقیق طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مؤسسه تحقیقات بیوتکنولوژی و علوم کشاورزی هیرکان آزما فناور واقع در شهرستان آمل استان مازندران در شرایط طبیعی یا برون‌شیشه‌ای[5] به مرحله اجرا در آمد. گیاهان مادری سرخدار به‌عنوان نمونه‌های گیاهی تهیه شدند. حدود ۲۵ سانتی‌متر انتهای شاخه گیاهان ۵ ساله بریده شد و به‌عنوان قلمه چوب‌سخت سرشاخه مورد استفاده قرار گرفت. قلمه‌ها از بالاترین قسمت گیاه در آبان ماه تهیه شدند و قطر تقریبی آنها ۲/۵ تا ۳ میلی‌متر بود. برای جلوگیری از آلودگی احتمالی، گیاهان مادری یک هفته قبل از قلمه‌گیری با قارچ‌کش بردوفیکس ۲ در ۱۰۰۰ تیمار شدند. قلمه‌ها

1- taxol
2- *Olea europea* L.
3- peach × almond
4- *Pinus virginiana* Mill.
5- *in vivo*

در گلدان‌های با ابعاد ۱۲ × ۱۲ × ۱۰، پرشده با پرلیت، کوکوپیت و پیت ماس به نسبت مساوی کاشته شدند.

اعمال تیمارها

بعد از برداشت، انتهای تحتانی قلمه‌های سرشاخه به‌مدت ۱۰ ثانیه در غلظت‌های صفر (به‌عنوان شاهد)، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از پوتریسین نگهداری شدند و بعد از این مدت اقدام به کشت آنها در بستر کاشت پرلیت، کوکوپیت و پیت ماس به نسبت مساوی گردید. برای هر تیمار ۴ تکرار در نظر گرفته شد. نمونه‌ها در گلخانه با دمای ۲ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰–۷۰ درصد نگهداری شدند.

صفات اندازه‌گیری‌شده

بعد از حدود ۹۰ روز، صفات درصد ریشه‌زایی، تعداد ریشه، طول ریشه، طول ساقه، تعداد شاخه و تعداد برگ قلمه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. اندازه‌گیری صفات طولی اندام‌ها با خط‌کش انجام شد. تعداد اندام‌ها با چشم غیرمسلح شمارش گردید.

طرح آماری و تجزیه داده‌ها

آزمایش بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام شد که عامل آزمایش شامل غلظت‌های صفر (به‌عنوان شاهد)، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین بود. صفات ۹۰ روز بعد از اعمال تیمارها بررسی شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج

درصد ریشه‌زایی قلمه‌ها

جدول ۱ نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین روی درصد ریشه‌زایی قلمه‌ها معنی‌دار ($P≤۰/۰۱$) بود. درصد ریشه‌زایی در قلمه‌هایی که بالاترین طول ساقه و بیشترین تعداد شاخه را داشتند از سایر قلمه‌ها بالاتر بود. بر این اساس، بالاترین درصد ریشه‌زایی (۹۷/۵۰ درصد) در قلمه‌های تیمارشده با ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین به‌دست آمد (جدول ۲). قلمه‌های تیمارشده با ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین دارای ۹۰ درصد ریشه‌زایی بودند. بین سطوح ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین اختلافی از نظر درصد ریشه‌زایی وجود نداشت. پایین‌ترین درصد ریشه‌زایی (۷۰/۵۰ درصد) مربوط به قلمه‌های تیمارنشده (شاهد) بود.

تعداد ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین بر تعداد ریشه روی قلمه‌ها معنی‌دار بود ($P≤۰/۰۱$). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین روی تعداد ریشه نشان داد که بیشترین تعداد ریشه (۶/۵۰) در قلمه‌های تیمارشده با ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین تولید گردید (جدول ۲، شکل ۱). این تعداد در ریشه‌های تیمارشده با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین حدود ۲ تا ۳ برابر بیشتر از تعداد ریشه در قلمه‌های تیمارشده با سایر غلظت‌های پوتریسین بود. ارتباط مثبتی بین افزایش غلظت پوتریسین و افزایش تعداد ریشه روی قلمه‌ها مشاهده نشد. کمترین تعداد ریشه (۱/۷۵) روی قلمه‌های ساقه شاهد تشکیل شد (شکل ۱).

طول ریشه

اختلاف طول ریشه ایجادشده در قلمه‌های گیاهان سرخدار، در نمونه‌های رشدیافته تحت غلظت‌های مختلف پوتریسین در سطح احتمال یک درصد ($P≤۰/۰۱$) معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که بیشترین طول ریشه (۷/۷۰ سانتی‌متر در گیاهچه) در قلمه‌های تیمارشده با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین به دست آمد که حدود ۲ تا ۳ برابر بیشتر از طول ریشه در قلمه‌های تیمارشده با اغلب غلظت‌های پوتریسین بود. کمترین طول ریشه (۲/۳۵ سانتی‌متر) در قلمه‌های شاهد به‌دست آمد. یافته‌ها نشان داد که ارتباط مستقیمی بین افزایش طول ریشه و افزایش غلظت پوتریسین وجود نداشت.

تعداد شاخه

داده‌های حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که تعداد شاخه در قلمه، تحت تأثیر غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد گیاهی پوتریسین قرار داشت ($P≤۰/۰۱$). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد شاخه (۵/۵۰) در قلمه‌های تیمارشده با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین شمارش شد. این تعداد در قلمه‌های تیمارشده با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین حدود دو برابر تعداد شاخه در قلمه‌های شاهد بود. قلمه‌های تیمارشده با ۴۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین و قلمه‌های تیمارنشده با پوتریسین کمترین تعداد شاخه (به‌ترتیب با ۲، ۲/۰۲ و ۲/۲۵ شاخه در هر قلمه) را داشتند (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین روی برخی صفات قلمه سرخدار

Table 2- ANOVA (mean squares) for the effect of different concentrations of putrescine on some traits of Yew cutting

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	تعداد برگ Leaf number	تعداد شاخه Shoot number	طول ساقه Stem length	طول ریشه Root length	تعداد ریشه Root number	درصد ریشه‌زایی Rooting percantage
تکرار Replication	3	0.756^ns^	0.251^ns^	0.2004^ns^	1.421^ns^	0.7916^ns^	12.50^ns^
تیمار Treatment	7	95.70**	5.357**	3.039**	11.69**	8.76**	291.00**
خطا Error	21	11.32	0.4404	0.455	1.185	0.291	57.70
ضریب تغییرات CV (%)	-	11.03	23.08	8.69	28.77	17.63	9.28

ns: عدم معنی‌داری *، **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, **: Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns: Non-significant.

جدول ۲- اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین روی برخی صفات قلمه سرخدار

Table 2- The effect of different concentrations of putrescine on some traits of Yew cutting

پوتریسین Putrescine ($mg.l^{-1}$)	تعداد برگ Leaf number	تعداد شاخه Shoot number	طول ساقه Stem length (cm)	طول ریشه Root length (cm)	تعداد ریشه Root number	ریشه‌زایی Rooting (%)
0	28.75^c^ ± 1.71	2.25^cd^ ± 0.96	7.02^c^ ± 0.81	2.35^c^ ± 0.94	1.75^c^ ± 0.50	70.50^cd^ ± 5.20
500	27.50^c^ ± 1.73	2.25^cd^ ± 0.50	7.27^bc^ ± 0.80	7.70^a^ ± 1.80	6.50^a^ ± 0.57	85.50^b^ ± 0.00
1000	28.50^c^ ± 2.08	2.75^c^ ± 0.50	8.07^b^ ± 0.53	4.15^b^ ± 1.53	2.50^bc^ ± 0.57	82.50^bc^ ± 4.93
2000	34.00^b^ ± 4.55	5.50^a^ ± 0.58	9.70^a^ ± 0.16	2.50^c^ ±0.85	3.25^b^ ± 0.50	97.50^a^ ± 4.10
3000	41.25^a^ ± 4.79	3.00^bc^ ± 0.82	7.72^bc^ ± 0.53	3.67^bc^ ± 0.83	3.00^b^ ± 0.82	77.85^cd^ ± 5.07
4000	28.50^c^ ± 2.08	2.00^d^ ± 0.00	7.85^bc^ ± 1.05	3.12^bc^ ± 1.10	2.00^c^ ± 0.00	82.50^bc^ ± 5.00
5000	26.25^c^ ± 1.71	3.25^b^ ± 0.96	7.35^bc^ ± 0.39	2.87^bc^ ± 0.75	2.50^bc^ ± 0.57	90.00^ab^ ± 8.16
10000	29.25^bc^ ± 4.35	2.02^d^ ± 0.00	7.05^c^ ± 0.51	3.90^bc^ ± 0.32	3.00^b^ ± 0.82	77.70^cd^ ± 11.50

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف همسان نیستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌دار دارند.

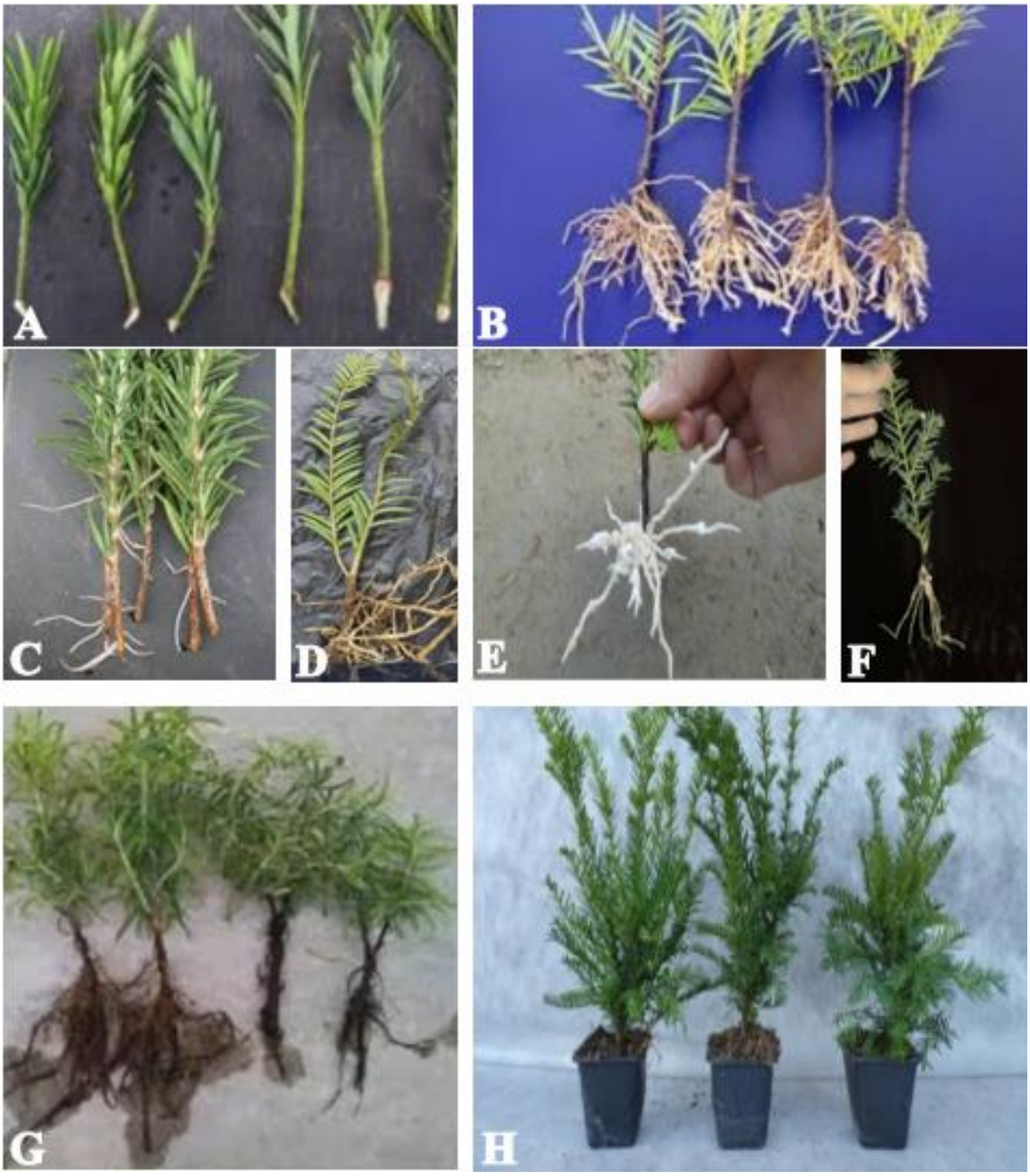
Means with different letters on the same column are significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

طول ساقه

طول ساقه در قلمه‌های تیمارشده با غلظت ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین بالا بود. بالاترین طول ساقه (۹/۷۰ سانتی‌متر) در قلمه‌های تیمارشده با ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین به‌دست آمد (جدول ۲). طول ساقه در قلمه‌های شاهد تا قلمه‌های تیمارشده با غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌تدریج افزایش یافت، اما بعد از آن مجدداً طول ساقه کاهش نشان داد. کمترین طول ساقه (۷/۰۲ و ۷/۰۵ سانتی‌متر)، به‌ترتیب در قلمه‌های ساقه شاهد و قلمه‌های تیمارشده با غلظت ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین به‌دست آمد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین بر طول ساقه معنی‌دار بود ($P \leq ۰/۰۱$).

تعداد برگ

داده‌های حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که تعداد برگ در گیاه، تحت تأثیر غلظت‌های مختلف پوتریسین قرار داشت ($P \leq ۰/۰۱$). بیشترین تعداد برگ (۴۱/۲۵ عدد) در گیاهان تیمارشده با ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین شمارش شد. تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین با تحریک تولید ۳۳/۷۵ عدد برگ در گیاه، نیز تیمار مناسبی برای افزایش تعداد برگ گیاه سرخدار بود (جدول ۲، شکل ۱). کمترین تعداد برگ (۲۶/۲۵ عدد در هر قلمه) در قلمه‌های تیمارشده با ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین مشاهده گردید.



شکل ۱- مراحل ریشه‌زایی و رشد قلمه‌های ساقه سرخدار

(A) قلمه‌های سرخدار، جداشده از گیاهان مادری با ۵ سال سن؛ (B) قلمه‌های ریشه‌دارشده در محلول ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین؛ (C) قلمه‌های ریشه‌دارشده در محلول ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (چپ)، شاهد (وسط) و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (راست) پوتریسین در ابتدای تولید ریشه؛ (D) قلمه‌های ریشه‌دارشده در محلول ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین؛ (E) اولین ریشه‌های تولیدشده حدود ۶۵ روز بعد از قلمه‌زنی؛ (F) ریشه‌ها و برگ‌های تولیدشده در قلمه‌های تیمارشده با محلول ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین؛ (G) قلمه‌های ریشه‌دارشده در غلظت‌های مختلف پوتریسین بعد از ۹۰ روز، به ترتیب از چپ به راست: ۲۰۰۰، ۵۰۰، صفر و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر؛ (H) گیاهان رشدکرده در گلدان در انتهای آزمایش.

Figure 1- Rooting steps and growth of Yew stem cuttings

(A) Yew cuttings, detachted from 5-years-old mother plants; (B) Rooted cuttings in 500 mg.l^{-1} putrescine solution; (C) Rooted cuttings in 500 mg.l^{-1} (left), control (middle) and 2000 mg.l^{-1} (right) of putrescine solution in early root production; (D) Rooted cuttings in 500 mg.l^{-1} putrescine solution; (E) First produced roots about 65 days after cutting; (F) Roots and leaves produced in cuttings treated with 3000 mg.l^{-1} putrescine solution; (G) Rooted cuttings in different concentrations of putrescine after 90 days, ordered from left to right: 2000, 500, 0 and 1000 mg.l^{-1}; (H) Grown plants in pots at the end of the experiment.

بحث

کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها به‌عنوان یک گروه جدید از هورمون‌ها، ریشه‌زایی را در برخی قلمه‌ها تحریک می‌کند (Karimini & Yadollahi, 2012). داشتن ریشه‌های بیشتر و قوی‌تر در پایه قلمه‌ها، درصد باززایی گیاهان حاصل را بعد از انتقال به مزرعه افزایش می‌دهد. ریشه‌زایی نابجا یک پاسخ فیزیولوژیک گیاهی مهم طی تکثیر قلمه‌ها با اهمیت تجاری بالا است (Tsafouros & Roussos, 2020). برخی هورمون‌های رشد گیاهی، کربوهیدرات‌ها و مواد معدنی در این فرآیند نقش دارند. قلمه‌های هیبرید هلو و بادام تیمارشده با ۲ میلی‌مولار پوتریسین به مدت ۵ دقیقه، بیشترین درصد ریشه‌زایی (۷۴/۶۰ درصد)، تعداد ریشه در هر قلمه (۹/۵) و طول ریشه (۱۲/۲۰ سانتی‌متر) با بهترین کیفیت را در مقایسه با IBA و یک پودر تجاری ریشه‌زایی[1] حاوی سه گرم در هر کیلوگرم IBA نشان دادند (Karimini & Yadollahi, 2012). این در حالی است که IBA به عنوان پرکاربردترین و مؤثرترین هورمون ریشه‌زایی در اغلب گیاهان سخت ریشه‌زا از جمله زیتون و فندق[2] معرفی شده است (Hartmann *et al*., 2002; Pio *et al*., 2005). نتایج مطالعه ریشه‌زایی روی قلمه ساقه دورگ هلو و بادام آشکار کرد که پوتریسین علاوه بر سمیت کمتر نسبت به IBA، ریشه‌زایی را نیز بیشتر از این هورمون تحریک کرد (Karimini & Yadollahi, 2012). غلظت ۴ میلی‌مولار پوتریسین، درصد قلمه‌های ریشه‌دارشده را افزایش نداد. طول شاخه در قلمه‌های تیمارشده با ۴ میلی‌مولار پوتریسین به‌طور معنی‌داری بالاتر از بقیه بود (Karimini & Yadollahi, 2012). نتایج حاصل از پژوهش ما با نتایج ارائه‌شده توسط این محققان همخوانی دارد، به‌طوری‌که با افزایش غلظت پوتریسین، درصد ریشه‌زایی افزایش نیافت. پوتریسین قادر به اثرگذاری روی سایر هورمون‌های گیاهی است و سمیت کمتری نسبت به اغلب آنها دارد (Galston *et al*., 1997). در تحقیقی اثر تحریکی کاربرد همزمان پوتریسین و IBA روی ریشه‌زایی قلمه‌های دو رقم زیتون نشان داده شد (Aslmoshtaghi *et al*., 2014). در رقم با توانایی ریشه‌زایی پائین، بالاترین درصد ریشه‌زایی (به‌ترتیب با ۴۳/۷۵ و ۴۲/۵۰ درصد) در تیمارهای ۶۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر IBA همراه با ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین به‌دست آمد. بیشترین تعداد ریشه در هر قلمه (حدود ۱۵ ریشه) نیز در این دو تیمار مشاهده شد. هر دو تیمار پوتریسین همراه با IBA بالاترین طول ریشه (حدود ۲۲ سانتی‌متر) را تحریک کردند.

پلی‌آمین‌ها در ریشه‌زایی قلمه‌های ساقه گیاهان سخت‌ریشه‌زا (چوبی)، اثر هم‌افزایی با اکسین‌ها دارند (Aslmoshtaghi *et al*., 2014). علت سخت‌ریشه‌زایی برخی گیاهان، حضور غلافی از سلول‌های اسکلرانشیمی و یا افزایش ضخامت پوست طی تشکیل ریشه در پایه قلمه ساقه است که به‌عنوان یک سد مکانیکی در برابر ظهور ریشه عمل می‌کنند. حضور ترکیبات تحریک‌کننده تولید ریشه نابجا همانند اکسین‌ها و پلی‌آمین‌ها، باعث افزایش فعالیت سلول‌های کامبیومی و تمایز بافت بنیادی ریشه، همچنین تحریک توزیع مجدد و حرکت برخی کوفاکتورهای اکسین به طرف پایه قلمه‌ها می‌شوند. این ترکیبات محرک ریشه‌زایی، پیری را نیز به تأخیر می‌اندازند (Aslmoshtaghi *et al*., 2014). پلی‌آمین‌ها، تقسیم سلولی در سلول‌های محل برش در قلمه را، مانند سلول‌های کامبیوم و آوندهای آبکش، تحریک می‌کنند. کاربرد خارجی این ترکیبات به‌ویژه پوتریسین طی مرحله تشکیل ریشه، باعث افزایش پوتریسین داخلی، اکسین داخلی و فعالیت آنزیم پراکسیداز شد (Aslmoshtaghi *et al*., 2014). بنابراین، پوتریسین و سایر پلی‌آمین‌ها، به‌عنوان ترکیبات جدید هورمونی، در مرحله القای ریشه نقش دارند (Karimi & Yadollahi, 2012; Aslmoshtaghi *et al*., 2014). در قلمه‌های ساقه برگ‌دار فندق، استفاده از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر IBA همراه با ۱۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین باعث تحریک بالاترین درصد ریشه‌زایی (۸۰ درصد) گردید (Cristofori *et al*., 2010). این مطالعه همانند پژوهش حاضر تأیید کرد که پوتریسین می‌تواند برای افزایش درصد ریشه‌زایی و کیفیت ریشه‌ها مفید باشد. پوتریسین نقش مؤثری در ریشه‌زایی قلمه‌های ساقه گیاه ریشه پرستوک[3] داشت (Matam & Parvatam, 2017). مطالعه حاضر آشکار کرد که کمترین تعداد ریشه در قلمه‌هایی شمارش شدند که تحت تیمار پوتریسین قرار نگرفتند.

کاربرد خارجی آرژنین به‌عنوان یک پیش‌ساز ساخت پلی‌آمین‌ها در تحریک تشکیل ریشه در قلمه زیتون مؤثر بود (Aslmoshtaghi *et al*., 2014). کاربرد خارجی پوتریسین در آنتوریوم، باعث ساخت آرژنین و تبدیل آرژنین به پلی‌آمین‌ها شد (Sun *et al*., 2021). درصد ریشه‌زایی پایه‌های هلو[4] تحت کاربرد اسپرمین و آب اکسیژنه (H_2O_2) دو برابر شاهد بود (Tsafouros & Roussos, 2020). پلی‌آمین‌ها (اسپرمین، اسپرمیدین و پوتریسین)، در غلظت ۰/۰۰۱ میلی‌مولار، درصد ریشه‌زایی و طویل‌شدن و رشد ریشه را با تحریک تقسیم سلولی ریشه (افزایش شاخص میتوزی سلول‌های نوک ریشه) در گیاهچه‌های باززایی‌شده کاج ویرجینیا افزایش دادند (Tang & Newton, 2005).

1- Richgro Root Strike, Australia
2- *Corylus avellana* L.

3- *Decalepis hamiltonii*
4- *Prunus* sp.

غلظت‌های ۰/۰۱ و یک میلی‌مولار این پلی‌آمین‌ها ریشه‌زایی را کاهش دادند. در غلظت‌های بالای پلی‌آمین‌ها، فعالیت پلی‌آمین اکسیدازها و دی‌آمین اکسیدازها افزایش یافت (Tang & Newton, 2005). تیمار با پوتریسین باعث کاهش تولید اتیلن در گندم شد (Yu *et al*., 2016). نتایج مطالعه روی نوعی کاج[1] آشکار کرد که طی القا و تشکیل ریشه، بیوسنتز پلی‌آمین‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش یافت (Fei *et al*., 2016). کاربرد خارجی ۲۰ میلی‌مول بر لیتر اسپرمیدین در قلمه ساقه سیب[2] با اصلاح (افزایش) غلظت داخلی ایندول-۳-استیک اسید (IAA) و اسید جیبرلیک (GA_3) و کاهش اسید آبسیزیک (ABA)، ریشه‌زایی را تحریک کرد (Wang *et al*., 2020). اسپرمیدین، بیان ژن‌های دخیل در ساخت اکسین‌ها را تنظیم کرد. مطالعه به‌منظور بررسی اثر سلولی-ملکولی پلی‌آمین‌ها روی ساختار و نمو ریشه‌ها در آرابیدوپسیس[3] نشان داد که این ترکیبات آلی اندازه ناحیه مریستمی ریشه را با تأثیر روی افزایش غلظت و تجمع هورمون‌ها و گونه فعال اکسیژن[4] در حد معمول حفظ کردند (Hashem *et al*., 2021).

نتایج مشابه و متفاوت با یافته‌های حاضر توسط برخی محققان ارائه شده است. علت اصلی این نتایج متفاوت، تفاوت در میزان و تعادل هورمون‌های رشد از جمله پلی‌آمین‌ها در گونه‌های مختلف است. ژنوتیپ گیاه، نوع قلمه (نرم، نیمه‌خشبی و خشبی)، سن قلمه، عوامل محیطی، وضعیت تغذیه‌ای به‌ویژه نوع و مقدار هیدرات‌های کربن موجود در گیاه، میزان انتقال این هیدرات‌های کربن از برگ‌ها به ریشه‌ها، حضور و میزان ترکیبات فنلی، ترکیبات نیتروژنی، مرحله فنولوژیکی و فصل برداشت قلمه نیز نقش مؤثری در این تفاوت‌ها ایفا می‌کنند (Hartmann *et al*., 2002).

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که قلمه ساقه برگی چوب‌سخت سرخدار می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی، با کاربرد خارجی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین، ریشه‌دار و تکثیر گردد. استفاده از حداقل غلظت پوتریسین برای ریشه‌زایی موفقیت‌آمیز قلمه‌ها از نظر اقتصادی نیز مقرون به‌صرفه است. استفاده از سایر پلی‌آمین‌ها (اسپرمین و اسپرمیدین) برای تحریک ریشه‌زایی در پایه قلمه‌های ساقه سرخدار، همچنین اثر ترکیبی پلی‌آمین‌ها با تنظیم‌کننده‌های رشد اکسینی به‌ویژه IBA پیشنهاد می‌شود.

References

1. Aslmoshtaghi, E., Shahsavar, A.R., & Taslimpour, M.R. (2014). Effects of IBA and Putrescine on root formation of olive cuttings. *Agriculture Conspectus Science, 79*(3), 191–194.
2. Babalar, M., Asgarpour, A., & Asgari, M. (2014). The effect of pre and postharvest treatment of salicylic acid and putrescine on some fruit quality of Granny Smith apple. *Journal of Horticultural Science*, *28*(4), 479–486. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V0I0.45084
3. Badihi, L., Gerami, M., Akbarinodeh, D., Shokrzadeh, M., & Ramezani, M. (2021). Physio-chemical responses of exogenous calcium nanoparticle and putrescine polyamine in saffron (*Crocus sativus* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *27*(1), 119–133. https://doi.org/10.1007/s12298-020-00923-x
4. Brickell, C., & Zuk, J.D. (1997). *A-Z Encyclopedia of Garden Plants*. DK Publishing, Inc. New York, USA. 1095 p.
5. Cristofori, V., Rouphael, Y., & Rugini, E. (2010). Collection time, cutting age, IBA and putrescine effects on root formation in *Corylus avellana* L. cuttings. *Scientia Horticulturae*, *124*(2), 189–194. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.034
6. Dargahi, D. (2000). Ecology of yew forests in East Alborz. *Project Report*, *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 127 p. (In Persian)
7. Fei, Y., Xiao, B., Yang, M., Ding, Q., & Tang, W. (2016). MicroRNAs, polyamines, and the activities antioxidant enzymes are associated with *in vitro* rooting in white pine (*Pinus strobus* L.). *SpringerPlus*, *6*(5), 416. https://doi.org/10.1186/s40064-016-2080-1
8. Galston, A.W., Kour-Sawhney, R., Altabella, T., & Tiburcio, A.F. (1997). Plant polyamines in reproductive activity and response to abiotic stress. *Botany Acta, 110*, 197–207.
9. Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davie, F.T., & Geneve, R.L. (2002). *Plant propagation, principles and practices*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 880 p.
10. Hashem, A.M., Moore, S., Chen, S., Hu, C., Zhao, Q., Elesawi, I.E., Feng, Y., Topping, J.F., Liu, J., Lindsey, K., & Chen, C. (2021). Putrescine depletion affects arabidopsis root meristem size by modulating auxin and cytokinin

1- *Pinus strobus* L.
2- *Malus prunifolia*
3- *Arabidopsis*
4- Reactive Oxygen Species or ROS

signaling and ROS accumulation. *International Journal of Molecular Science*, *22*, 4094. https://doi.org/10.3390/ijms22084094
11. Karimi, S., & Yadollahi, A. (2012). Using putrescine to increase the rooting ability of hardwood cuttings of the peach × almond hybrid GF677. *Journal of Agrobiology, 29*(2), 63–69. https://doi.org/10.2478/v10146-012-0010-6
12. Khanjani Shiraz, B., Ghodratkhah, R., & Hemmati, A. (2008). Impact of cutting and soil on vegetative propagation of yew (*Taxus baccata* L.). *Iranian Journal of Forestry and Poplar Research*, *16*(2), 169–175 (In Persian)
13. Liu, J.H., Honda, C., & Moriguchi, T. (2006). Involvement of polyamine in floral and fruit development. *Japanese International Research of Cen. Agricultural Science*, *40*, 51–58. https://doi.org/10.6090/jarq.40.51
14. Matam, P., & Parvatam, G. (2017). Putrescine and polyamine inhibitors in culture medium alter *in vitro* rooting response of *Decalepis hamiltonii* Wight & Arn. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *128*, 273–282. https://doi.org/10.1007/s11240-016-1108-0
15. Muilu-Makela, R., Vuosku, J., Haggman, H., & Sarjala, T. (2021). Polyamine metabolism in scot pine embryogenic cells under potassium deficiency. *Cells*, *10*(5), 1244. https://doi.org/103390/cells10051244
16. Nag, S., Saha, K., & Choudhuri, M.A. (2001). Role of auxin and polyamines in adventitious root formation in relation to change in compounds involved in rooting. *Journal of Plant Growth Regulators*, *20*, 182–194. https://doi.org/10.1007/s003440010016
17. Pio, R., Costabastos, D., & Berti, A.J. (2005). Rooting of different types of olive tree cutting using indol butyric acid. *Cienc. Agrotechnology Lavras*, *29*, 562–567.
18. Razi, S.A., Hashemabadi, D., & Kaviani, B. (2023). Effect of different concentrations and application methods of putrescine application on vase life, some physiological parameters and enzymatic activity of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers. *Journal of Horticultural Science*, *37*(3), 599–614. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JHS.2021.71518.1075
19. Rugini, E., Di Francesco, G., Muganu, M., Astolfi, S., & Caricato, G. (1997). The effects of polyamines and hydrogen peroxide on root formation in olive and the role of polyamines as an early marker for rooting ability. In: Altman, S. and Waisel, D. (eds.): Biology of Root Formation and Development. *Plenum Publishing Co., New York*, pp. 65–73.
20. Sun, X., Yuan, Z., Wang, B., Zheng, L., & Tan, J. (2021). Exogenous putrescine activates the arginine-polyamine pathway and inhibits the decomposition of endogenous polyamine in *Anthurium andraeanum* under chilling stress. *Scientia Horticulturae*, *282*, 110047. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110047
21. Tang, W., & Newton, R. (2005). Polyamines promote root elongation and growth by increasing root cell division in regenerated Virgina pine plantlets. *Plant Cell Reports*, *24*, 581–589.
22. Tsafouros, A., & Roussos, P. A. (2020). The possible bottleneck effect of polyamines' catabolic enzymes in efficient adventitious rooting of two stone fruit rootstocks. *Journal of Plant Physiology*, *224*, 152999. https://doi.org/101016/j.jplph.2019.152999
23. Wang, H., Mobeen Tahir, M., Azher Nawaz, M., Mao, J., Li, K., Wei, Y., Ma, D., Lu, X., Zhao, C., & Zhang, D. (2020). Spermidine application affects the adventitious root formation and root morphology of apple rootstock by altering the hormonal profile and regulating the gene expression pattern. *Scientia Horticulturae*, *266*, 109310. https://doi.org/10.18632/oncotarget.13582
24. Wu, Q.S., Zou, Y.N., & He, X.H. (2010). Exogenous putrescine, not spermine or spermidine, enhances root mycorrhizal development and plant growth of trifoliate orange (*Poncirus trifoliata*) seedlings. *International Journal of Agriculture and Biology*, *12*, 576–580. https://doi.org/10–093/MFA/2010/12–4–576–580
25. Yu, Y., Jin, C., Sun, C., Wang, J., Ye, Y., Zhou, W., Lu, L., & Lin, X. (2016). Inhibition of ethylene production by putrescine alleviates aluminium-induced root inhibition in wheat plants. *Science Reports*, *6*, 18888. https://doi.org/10.1038/srep18888